

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-284297

(43)Date of publication of application : 12.10.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/304  
B24B 37/00  
B24B 57/02  
H01L 21/3205  
H01L 21/768

(21)Application number : 2000-101337

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 31.03.2000

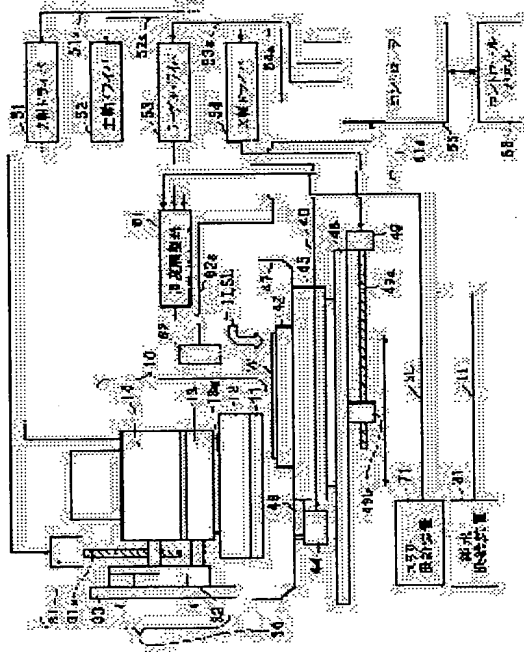
(72)Inventor : SATO SHUZO  
OTORII SUGURU

## (54) POLISHING DEVICE, POLISHING METHOD AND MANUFACTURING METHOD OF SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polishing device which can restrain damage and a polishing method, and a manufacturing method of a semiconductor device by improving polishing rate while maintaining relaxing ability of original steps.

SOLUTION: A polishing device has a polishing tool 11 with a polishing surface and polishes a surface wherein a metallic film is formed on a wafer by bringing a polishing surface of the tool 11 into contact with the surface to be polished. The device has a complex formation agent supply means 71 for supplying a complex formation agent containing ligand which forms a complex of a metallic film whose mechanical strength is lower than that of the metallic film to at least a contact region between the polishing surface and the surface to be polished, and a temperature adjustment means 61 for adjusting the temperature of the complex formation reaction region at a temperature which accelerates complex formation reaction between the metallic film and the complex formation agent.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-284297

(P2001-284297A)

(43) 公開日 平成13年10月12日 (2001. 10. 12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/304

6 2 2

H 0 1 L 21/304

6 2 2 R

3 C 0 4 7

6 2 2 D

3 C 0 5 8

6 2 2 X

5 F 0 3 3

B 2 4 B 37/00

B 2 4 B 37/00

J

K

審査請求 未請求 請求項の数38 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-101337(P2000-101337)

(22) 出願日

平成12年3月31日(2000. 3. 31)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 佐藤 修三

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72) 発明者 大島居 英

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 100094053

弁理士 佐藤 隆久

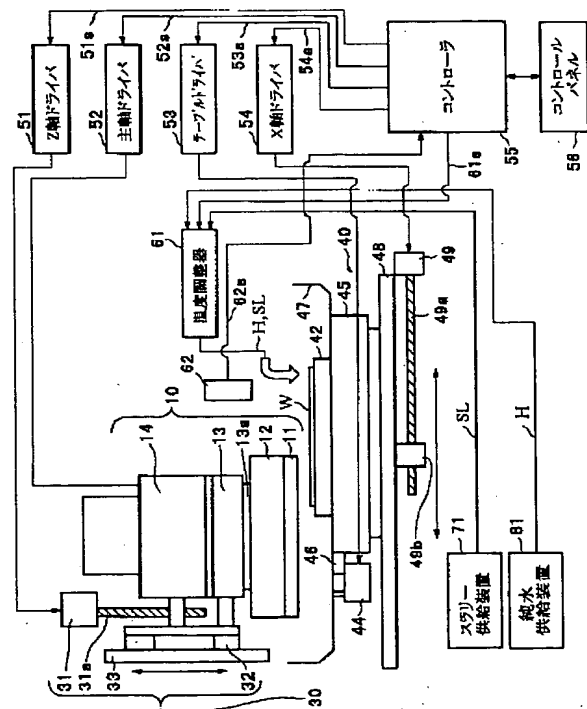
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 初期凹凸の段差緩和能力を維持しつつ、研磨レートを上させ、ダメージを抑制可能な研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 研磨面を有する研磨工具11を備え、ウェーハ上に金属膜が形成された被研磨面に前記研磨工具11の研磨面を接触させて研磨する研磨装置であって、前記研磨面と前記被研磨面との少なくとも接触領域に、前記金属膜より機械的強度の低い前記金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する錯形成剤供給手段71と、前記金属膜と前記錯形成剤との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域の温度調整をする温度調整手段61とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】研磨面を有する研磨部を備え、被研磨対象物の金属膜が形成された被研磨面に前記研磨部の前記研磨面を接触させて研磨する研磨装置であって、前記研磨面と前記被研磨面との少なくとも接触領域に、前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する錯形成剤供給手段と、

前記金属膜と前記錯形成剤との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域の温度調整をする温度調整手段とを有する研磨装置。

【請求項 2】前記錯形成剤は、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有する請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 3】前記金属膜は銅により形成されている請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 4】前記錯形成剤には、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 5】前記錯形成剤供給手段において、前記配位子としてキレート剤を含む前記錯形成剤を供給する請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 6】前記錯形成剤に、前記配位子として、少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかを含む請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 7】前記温度調整手段は、前記錯形成剤を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 8】前記温度調整手段は、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 2 記載の研磨装置。

【請求項 9】前記温度調整手段は、前記被研磨面または前記研磨面を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 10】前記錯形成反応領域の温度を測定する温度測定手段をさらに有する請求項 1 記載の研磨装置。

【請求項 11】前記温度測定手段からの検出信号に基づいて、前記温度の値が一定となるように前記温度調整手段を制御する制御手段をさらに有する請求項 10 記載の研磨装置。

【請求項 12】被研磨面に金属膜を有する被研磨対象物の研磨方法であって、前記被研磨面に前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する工程と、前記錯形成剤により錯体膜を前記金属膜表面に形成する工程と、前記錯体膜を除去し、除去された当該錯体膜下の金属膜を表面に露出させる工程とを有し、前記錯形成剤と前記金属膜との錯形成反応を促進する温

度に当該錯形成反応領域を温度調整する研磨方法。

【請求項 13】前記錯体膜を除去する工程の後、前記露出した金属膜に、前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を当該金属膜表面に形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰り返し行うことにより、前記金属膜を研磨する請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 14】前記被研磨面は、凹凸形状の前記金属膜を有しており、

前記錯体膜を形成する工程においては、前記金属膜の凹凸形状に応じた前記錯体膜を形成し、

前記錯体膜を除去する工程においては、前記錯体膜の凸部分を選択的に除去し、当該凸部分の金属膜を表面に露出させ、

前記露出した凸部分の金属膜に再び前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰り返すことにより前記金属膜を平坦化研磨する請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 15】前記錯形成剤は、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有しており、

前記錯体膜を除去する工程において、前記化学研磨剤による化学機械研磨により前記被研磨面の前記錯体膜を除去する請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 16】前記金属膜は銅により形成されている請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 17】前記錯形成剤は、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 18】前記錯形成剤を供給する工程において、前記配位子としてキレート剤を含む錯形成剤を供給し、前記錯体膜を形成する工程において、前記錯体膜としてキレート膜を形成する請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 19】前記錯形成剤は、前記配位子として、少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかを含む請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 20】前記錯形成剤を供給する工程において、前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 21】前記錯形成剤を供給する工程において、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 15 記載の研磨方法。

【請求項 22】前記被研磨対象物を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 23】前記錯体膜を除去する工程に用いる研磨部を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 12 記載の研磨方法。

【請求項 24】基板上に形成された絶縁膜上に配線用溝

を形成する工程と、  
前記配線用溝を埋め込むように、前記絶縁膜上の全面に前記配線用溝の段差に応じた凹凸形状を表面に有する金属膜を堆積させる工程と、  
前記金属膜表面に前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する工程と、  
前記錯形成剤により前記金属膜の錯体膜を前記金属膜表面に形成する工程と、  
前記金属膜の凹凸形状に応じた前記錯体膜の凸部分を選択的に除去し、当該凸部分の錯体膜下の金属膜を表面に露出させる工程とを有し、  
前記錯形成剤と前記金属膜との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整する半導体装置の製造方法。

【請求項 25】前記錯体膜を除去する工程の後に、前記露出した金属膜表面に、前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を当該金属膜表面に形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰り返し行うことにより、前記金属膜を研磨する請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 26】前記金属膜を堆積させる工程において、銅膜を堆積させる請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 27】前記配線用溝を形成する工程の後、前記銅膜を堆積させる工程の前に、前記絶縁膜上および前記配線用溝内を被覆して導電性のバリア膜を形成する工程をさらに有し、  
前記銅膜を堆積させる工程においては、前記配線用溝を埋め込むように、前記バリア膜の上層に前記銅膜を堆積させる請求項 26 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 28】前記錯形成剤を供給する工程において、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有する前記錯形成剤を供給し、  
前記錯体膜を除去する工程において、前記化学研磨剤による化学機械研磨により前記錯体膜を除去する請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 29】前記錯形成剤は、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 30】前記錯形成剤を供給する工程において、前記配位子としてキレート剤を含む錯形成剤を供給し、前記錯体膜を形成する工程において、前記錯体膜としてキレート膜を形成する請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 31】前記錯形成剤に含まれる前記配位子として、少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかを用いる請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 32】前記錯形成剤を供給する工程において、前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯

形成反応領域の温度調整をする請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 33】前記錯形成剤を供給する工程において、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 28 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 34】前記金属膜が形成された基板を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

10 【請求項 35】前記錯体膜を除去する工程に用いる研磨部を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする請求項 24 記載の研磨方法。

【請求項 36】前記バリア膜を形成する工程において、前記バリア膜の形成材料として、少なくとも Ta、Ti、W、Co、Ta<sub>2</sub>N、TiN、WN、Co<sub>2</sub>W または Co<sub>2</sub>WP のいずれかを用いて前記バリア膜を形成する請求項 27 記載の半導体装置の製造方法。

20 【請求項 37】前記配線用溝を形成する工程において、前記配線用溝の形成とともに、前記絶縁膜の下層に形成された不純物拡散層または配線と、前記配線用溝に形成される配線とを接続するためのコンタクトホールを形成し、  
前記金属膜を堆積させる工程において、前記配線用溝とともに前記コンタクトホールに前記金属を埋め込む請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

30 【請求項 38】前記絶縁膜は、少なくとも酸化シリコン、フッ化シリケートガラス、ポリイミド系高分子化合物、テフロン系高分子化合物、フッ素化アモルファスカーボン系化合物、ポリアリアルエーテル系高分子化合物、HSQ、キセロゲルのいずれかを含む材料により形成されている請求項 24 記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、たとえば、半導体装置の多層配線構造などを形成する工程に用いる研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

40 【従来の技術】半導体装置の高集積化、小型化に伴い、配線の微細化、配線ピッチの縮小化および配線の多層化が進んでおり、半導体装置の製造プロセスにおける多層配線技術の重要性が増大している。一方、従来、多層配線構造の半導体装置の配線材料としてアルミニウムが多用されてきたが、近年の 0.18 μm ルール以下のデザインルールにおいて、信号の伝搬遅延を抑制するために、配線材料をアルミニウムから銅に代えた配線プロセスの開発が盛んに行われている。銅を配線に使用すると、低抵抗と高エレクトロマイグレーション耐性を両立できるというメリットがある。

50 【0003】この銅を配線に使用するプロセスでは、例えばあらかじめ層間絶縁膜に形成した溝状の配線パター

ンに金属を埋め込み、CMP (Chemical Mechanical Polishing : 化学機械研磨) 法によって余分な金属膜を除去して配線を形成する、ダマシン (damascene) 法と呼ばれる配線プロセスが有力となっている。このダマシン法は、配線のエッチングが不要であり、さらに上層の層間絶縁膜も自ずと平坦なものになるので、工程を簡略化できるという利点がある。さらに、層間絶縁膜に配線用溝だけでなく、コンタクトホールも溝として開け、配線用溝とコンタクトホールを同時に金属で埋め込むデュアルダマシン (dualdamascene) 法では、さらに大幅な配線工程の削減が可能となる。

【0004】ここで、上記のデュアルダマシン法による配線形成プロセスの一例について下記の図を参照して、説明する。なお、配線材料として銅を用いた場合について説明する。まず、図20(a)に示すように、例えば、不図示の不純物拡散領域が適宜形成されているシリコン等の半導体基板301上に、例えば酸化シリコンからなる層間絶縁膜302を、例えば減圧CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により形成する。

【0005】次に、図20(b)に示すように、半導体基板301の不純物拡散領域に通じるコンタクトホールCH、および半導体基板301の不純物拡散領域と電気的に接続される所定のパターンの配線が形成される溝Mを公知のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて形成する。

【0006】次に、図20(c)に示すように、バリア膜305を層間絶縁膜302の表面、コンタクトホールCHおよび溝M内に形成する。このバリア膜305は、例えば、Ta、Ti、Ta<sub>2</sub>N、TiN等の材料を公知のスパッタ法により、形成する。バリア膜305は、配線を構成する材料が銅で層間絶縁膜302が酸化シリコンで構成されている場合には、銅は酸化シリコンへの拡散係数が大きく、酸化されやすいため、これを防止するために設けられる。

【0007】次に、図21(d)に示すように、バリア膜305上に、銅を公知のスパッタ法により、所定の膜厚で堆積させ、シード膜306を形成する。次に、図21(e)に示すように、コンタクトホールCHおよび溝Mを銅で埋め込むように、銅膜307を形成する。銅膜307は、例えば、メッキ法、CVD法、スパッタ法等により形成する。

【0008】次に、図21(f)に示すように、層間絶縁膜302上の余分な銅膜307およびバリア膜305をCMP法によって除去し、平坦化する。以上の工程により、銅配線308およびコンタクト309とが形成される。上記したプロセスを配線308上で繰り返し行うことにより、多層配線を形成することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のデュアルダマシン法を用いた銅配線形成プロセスでは、

余分な銅膜307をCMP法によって除去する工程において、従来のCMP法を用いた平坦化技術では、研磨工具と銅膜との間に高い圧力をかけ、研磨するため、半導体基板へのダメージが大きく、特に層間絶縁膜に機械的強度の低い低誘電率の有機系絶縁膜などを採用していく場合には、このダメージは、無視できないものとなり、層間絶縁膜へのクラック (亀裂) の発生、半導体基板からの層間絶縁膜の剥離などの問題がある。

【0010】また、層間絶縁膜302と、銅膜307およびバリア膜305との除去性能が異なることから、配線308にディッシング、エロージョン (シンニング)、リセス等が発生しやすいという問題が存在した。ディッシングは、図22(a)に示すように、例えば、0.18 $\mu$ mルール of デザインルールにおいて、例えば、100 $\mu$ m程度のような幅の広い配線308が存在した場合に、当該配線の中央部が過剰に除去され、へこんでしまう現象であり、このディッシングが発生すると配線308の断面積が不足するため、配線抵抗値不良等の原因となる。このディッシングは、配線材料に比較的軟質の銅やアルミニウムを用いた場合に発生しやすい。エロージョンは、図22(b)に示すように、例えば、3000 $\mu$ mの範囲に1.0 $\mu$ mの幅の配線が50パーセントの密度で形成されているようなパターン密度の高い部分が過剰に除去されてしまう現象であり、エロージョンが発生すると、配線の断面積が不足するため、配線抵抗値不良等の原因となる。リセスは、図22(c)に示すように、層間絶縁膜302と配線308との境界で配線308が低くなり段差ができてしまう現象であり、この場合にも配線の断面積が不足するため、配線抵抗値の不良等の原因となる。

【0011】一方、特にダマシン法またはデュアルダマシン法では、配線用溝、または配線用溝およびコンタクトホールを同時に銅で埋め込むため、余分な銅膜307の膜厚が大きく、かつ銅膜表面には埋め込みによって生じた凹凸があることから、余分な銅膜307をCMP法によって、効率的に除去しつつ、当該初期段差を緩和する必要がある。従って、単位時間当たりの除去量である研磨レートは、例えば、500nm/min以上となるように要求されており、この研磨レートを稼ぐためには、ウェーハに対する加工圧力を大きくしたり、エッチング力の強い薬液を用いたり、研磨工具の回転数を上げたりすることが考えられるが、いずれの場合でも精度面では、上記の方法で研磨レートを向上しようとする、段差緩和能力 (平坦化能力) が低下することが知られている。また、図23に示すように、配線表面にスクラッチSCやケミカルダメージCDが発生しやすくなり、特に、軟質の銅では発生しやすい。このため、配線のオープン、ショート、配線抵抗値不良等の不具合の原因となり、また、上記の方法で研磨レートを向上しようすると、上記のクラック、層間絶縁膜の剥離、ディッシング

グ、エロージョンおよびリセスの発生量も大きくなるといふ不利益が存在した。

【0012】本発明は上記の問題点を鑑みてなされたものであり、従って、本発明は、ディッシングやエロージョンなどの不利益が生じることなく、銅配線などの金属膜を研磨によって平坦化する際に、初期凹凸の段差緩和能力を維持しつつ、研磨レートを向上させ、配線下層の層間絶縁膜などへのダメージを抑制可能な研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明の研磨装置は、研磨面を有する研磨部を備え、被研磨対象物の金属膜が形成された被研磨面に前記研磨部の前記研磨面を接触させて研磨する研磨装置であって、前記研磨面と前記被研磨面との少なくとも接触領域に、前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する錯形成剤供給手段と、前記金属膜と前記錯形成剤との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域の温度調整をする温度調整手段とを有する。

【0014】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記錯形成剤は、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有する。

【0015】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記金属膜は銅により形成されている。

【0016】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記錯形成剤には、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む。

【0017】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記錯形成剤供給手段において、前記配位子として少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかのキレート剤を含む前記錯形成剤を供給する。

【0018】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記温度調整手段は、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をし、また前記被研磨面または前記研磨面を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする。

【0019】上記の本発明の研磨装置は、好適には、前記錯形成反応領域の温度を測定する温度測定手段をさらに備え、さらに好適には、前記温度測定手段からの検出信号に基づいて、前記温度の値が一定となるように前記温度調整手段を制御する制御手段をさらに有する。

【0020】上記の本発明の研磨装置によれば、被研磨面の金属膜表面が、酸化剤によって酸化されて、配位子との錯形成反応により、錯体膜となる。当該錯体膜は、金属膜よりも機械的強度が低いため、低い研磨圧力で研磨除去することが可能となる。上記の作用において、錯体膜は金属膜表面に一樣に形成されるため、例えば凹凸形状を有する金属膜を研磨する場合に、その凹凸形状の

金属膜表面に一樣に錯体膜が形成され、当該錯体膜の凸部を選択的に除去することにより、凸部の金属膜表面が露出する。この金属膜の凸部は、さらに錯形成剤の作用によって錯体膜となり、再び選択的に除去される。この結果、金属膜の初期凹凸が平坦化される。さらに、上記の錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整することにより、錯体膜の生成速度が増加することから、金属膜の研磨レートを向上することができる。なお、上記の作用を、錯形成反応領域の温度を測定する温度測定手段からの検出信号に基づいて、当該温度の値が一定となるように制御手段により、温度調整手段を制御することにより、錯体膜の生成速度をほぼ一定に保つことができ、その結果、研磨レートを一定に保つことが出来る。従って、平坦化能力の高い研磨装置を実現することができる。

【0021】また、上記の目的を達成するため、本発明の研磨方法は、被研磨面に金属膜を有する被研磨対象物の研磨方法であって、前記被研磨面に前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する工程と、前記錯形成剤により錯体膜を前記金属膜表面に形成する工程と、前記錯体膜を除去し、除去された当該錯体膜下の金属膜を表面に露出させる工程とを有し、前記錯形成剤と前記金属膜との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整する。

【0022】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記錯体膜を除去する工程の後に、前記露出した金属膜に、前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を当該金属膜表面に形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰り返し行うことにより、前記金属膜を研磨する。

【0023】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記被研磨面は、前記被研磨面は、凹凸形状の前記金属膜を有しており、前記錯体膜を形成する工程においては、前記金属膜の凹凸形状に応じた前記錯体膜を形成し、前記錯体膜を除去する工程においては、前記錯体膜の凸部分を選択的に除去し、当該凸部分の金属膜を表面に露出させ、前記露出した凸部分の金属膜に再び前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰り返すことにより前記金属膜を平坦化研磨する。

【0024】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記錯形成剤は、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有しており、前記錯体膜を除去する工程において、前記化学研磨剤による化学機械研磨により前記被研磨面の前記錯体膜を除去する。

【0025】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記金属膜は銅により形成されている。

【0026】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記錯形成剤は、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む。

【0027】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記錯形成剤を供給する工程において、前記配位子として、少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかのキレート剤を含む錯形成剤を供給し、前記錯体膜を形成する工程において、前記錯体膜としてキレート膜を形成する。

【0028】上記の本発明の研磨方法は、好適には、前記錯形成剤を供給する工程において、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯形成反応領域の温度調整をし、また、前記被研磨対象物、または前記錯体膜を除去する工程に用いる研磨工具を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする。

【0029】上記の本発明の研磨方法によれば、被研磨面の金属膜表面が、酸化剤によって酸化されて、配位子との錯形成反応により錯体膜となる。当該錯体膜は、金属膜よりも機械的強度が低いため、低い研磨圧力で研磨除去することが可能となる。上記の作用において、錯体膜は金属膜表面に様に形成されるため、例えば凹凸形状を有する金属膜を研磨する場合に、その凹凸形状の金属膜表面に様に錯体膜が形成され、当該錯体膜の凸部を選択的に除去することにより、凸部の金属膜表面が露出する。この金属膜の凸部は、さらに錯形成剤の作用によって錯体膜となり、再び繰り返し選択的に除去されることにより、金属膜の初期凹凸が平坦化される。さらに、上記の錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整することにより、錯体膜の生成速度が増加することから、金属膜の研磨レートを向上することができる。なお、上記の作用を、錯形成反応領域の温度が一定となるように調整することにより、錯体膜の生成速度をほぼ一定に保つことができ、その結果、研磨レートを一定に保つことが出来る。従って、平坦化能力の高い研磨方法を実現することができる。

【0030】さらに、上記の目的を達成するため、本発明の半導体装置の製造方法は、基板上に形成された絶縁膜上に配線用溝を形成する工程と、前記配線用溝を埋め込むように、前記絶縁膜上の全面に前記配線用溝の段差に応じた凹凸形状を表面に有する金属膜を堆積させる工程と、前記金属膜表面に前記金属膜より機械的強度の低い当該金属膜の錯体を形成する配位子を含む錯形成剤を供給する工程と、前記錯形成剤により前記金属膜の錯体膜を前記金属膜表面に形成する工程と、前記金属膜の凹凸形状に応じた前記錯体膜の凸部分を選択的に除去し、当該凸部分の錯体膜下の金属膜を表面に露出させる工程とを有し、前記錯形成剤と前記金属膜との錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整する。

【0031】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記錯体膜を除去する工程の後に、前記露出した金属膜表面に、前記錯形成剤を供給して、前記錯体膜を当該金属膜表面に形成し、当該錯体膜を除去する工程を繰

り返し行うことにより、前記金属膜を研磨する。

【0032】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記金属膜を堆積させる工程において、銅膜を堆積させる。

【0033】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記配線用溝を形成する工程の後、前記銅膜を堆積させる工程の前に、前記絶縁膜上および前記配線用溝内を被覆して導電性のバリア膜を形成する工程をさらに有し、前記銅膜を堆積させる工程においては、前記配線用溝を埋め込むように、前記バリア膜の上層に前記銅膜を堆積させる。

【0034】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記錯形成剤を供給する工程において、研磨砥粒を含む化学研磨剤を含有する前記錯形成剤を供給し、前記錯体膜を除去する工程において、前記化学研磨剤による化学機械研磨により前記錯体膜を除去する。

【0035】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記錯形成剤は、前記金属膜を酸化させ、前記錯形成反応を促進する酸化剤を含む。

【0036】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記錯形成剤を供給する工程において、前記配位子として、少なくともキナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、またはプロピオン酸のいずれかのキレート剤を含む錯形成剤を供給し、前記錯体膜を形成する工程において、前記錯体膜としてキレート膜を形成する。

【0037】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記錯形成剤を供給する工程において、前記化学研磨剤を含む前記錯形成剤を温度調整して供給することにより前記錯形成反応領域の温度調整をし、また、前記金属膜が形成された基板や、前記錯体膜除去工程に用いる研磨工具を温度調整することにより前記錯形成反応領域の温度調整をする。

【0038】本発明の半導体装置の製造方法は、好適には、前記配線用溝を形成する工程において、前記配線用溝の形成とともに、前記絶縁膜の下層に形成された不純物拡散層または配線と、前記配線用溝に形成される配線とを接続するためのコンタクトホールを形成し、前記金属膜を堆積させる工程において、前記配線用溝とともに前記コンタクトホールに前記金属を埋め込む。また、前記絶縁膜は、少なくとも酸化シリコン、フッ化シリケートガラス、ポリイミド系高分子化合物、テフロン（登録商標）系高分子化合物、フッ素化アモルファスカーボン系化合物、ポリアリアルエーテル系高分子化合物、HSQ、キセロゲルのいずれかを含む材料により形成されている。ここで、HSQとは、Hydrogen Silsequioxanes のことであり、化学式は  $H_8Si_8O_{12}$  である。

【0039】上記の本発明の半導体装置の製造方法によれば、被研磨面の金属膜表面が、酸化剤によって酸化されて、配位子との錯形成反応により、錯体膜となる。当該錯体膜は、金属膜よりも機械的強度が低いため、低い



研磨圧力で研磨除去することが可能となる。従って、金属膜下層の層間絶縁膜にあたえるダメージを低下させることができ、絶縁膜材料として機械的強度がTEOSなどを原料にした酸化シリコンよりも低い低誘電率材料にも適用可能である。また、ディッシング、エロージョンなどの不利益を防止することができる。上記の作用において、錯体膜は金属膜表面に様に形成されるため、例えば凹凸形状を有する金属膜を研磨する場合に、その凹凸形状の金属膜表面に様に錯体膜が形成され、当該錯体膜の凸部を選択的に除去することにより、凸部の金属膜表面が露出する。この金属膜の凸部は、さらに錯形成剤の作用によって錯体膜となり、再び繰り返して選択的に除去されることにより、金属膜の初期凹凸が平坦化される。さらに、上記の錯形成反応を促進する温度に当該錯形成反応領域を温度調整することにより、錯体膜の生成速度が増加することから、金属膜の研磨レートを向上させることができ、半導体装置のスループットを向上させることができる。なお、上記の作用を、錯形成領域の温度が一定となるように調整することにより、錯体膜の生成速度をほぼ一定に保つことができ、その結果、研磨レートを一定に保つことが出来る。従って、平坦化能力の高い研磨方法を実現することができる。

#### 【0040】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法の実施の形態について、図面を参照して説明する。

#### 【0041】第1実施形態

図1は、本発明の実施形態に係る研磨装置の構成を示す図である。図1に示す研磨装置は、加工ヘッド部と、研磨装置全体を制御する機能を有するコントローラー55と、温度調整器61と、温度測定器62と、スラリー供給装置71と、純水供給装置81とを備えている。なお、図示しないが研磨装置は、クリーンルーム内に設置され、当該クリーンルーム内には、被研磨対象物のウェーハを収納したウェーハカセットを搬出入する搬出入ポートが設けられている。さらに、この搬出入ポートを通じてクリーンルーム内に搬入されたウェーハカセットと研磨装置との間でウェーハの受け渡しを行うウェーハ搬送ロボットが搬出入ポートと研磨装置の間に設置される。

【0042】研磨工具11を保持し、回転させる研磨工具保持部10と、研磨工具保持部10をZ軸方向の目標位置に位置決めするZ軸位置決め機構部30と、被研磨対象物のウェーハWを保持し回転させX軸方向に移動するX軸移動機構部40とから加工ヘッド部が構成されている。

【0043】図2に加工ヘッド部の概略拡大図を示す。研磨工具保持部10は、研磨工具11と、研磨工具11を保持するフランジ部材12と、フランジ部材12を主軸13aを介して回転自在に保持する保持装置13と、

保持装置13に保持された主軸13aを回転させる主軸モータ14とから構成されている。

【0044】主軸モータ14は、例えば、ダイレクトドライブモータからなり、このダイレクトドライブモータの不図示のロータは、主軸13aに連結されている。主軸モータ14は、主軸ドライバ52から供給される駆動電流によって駆動される。

【0045】保持装置13は、例えば、エアベアリングを備えており、このエアベアリングで主軸13aを回転自在に保持している。

【0046】フランジ部材12は、主軸13aに連結され、下端面に研磨工具11が固着されている。フランジ部材12の上端面は、主軸13aに連結されているため、主軸13aの回転によってフランジ部材12も回転する。

【0047】研磨工具11は、フランジ部材12の下端面に固着されている。この研磨工具11は、例えばホイール状に形成されており、下端面に環状の研磨面11aを備えている。研磨工具11は、好ましくは、比較的軟質性の材料で形成する。例えば、バインダマトリクス（結合剤）自体が導電性を持つカーボンや、あるいは、焼結銅、メタルコンパウンド等を含有するウレタン樹脂、メラミン樹脂、エポキシ樹脂、ポリビニルアセタール（PVA）などの樹脂からなる多孔質体から形成することができる。

【0048】Z軸位置決め機構部30は、不図示のコラムに固定されたZ軸サーボモータ31と、Z軸サーボモータ31に接続されたボールネジ軸31aと、保持装置13および主軸モータ14に連結され、ボールネジ軸31aに螺合するネジ部を有するZ軸スライダ32と、Z軸スライダ32をZ軸方向に移動自在に保持する不図示のコラムに設置されたガイドレール33とを有する。

【0049】Z軸サーボモータ31は、Z軸サーボモータ31に接続されたZ軸ドライバ51から駆動電流が供給されて回転駆動される。ボールネジ軸31aは、Z軸方向に沿って設けられ、一端がZ軸サーボモータ31に接続され、他端は、上記の不図示のコラムに設けられた保持部材によって、回転自在に保持され、その間に、Z軸スライダ32のネジ部と螺合されている。上記の構成により、Z軸サーボモータ31の駆動により、ボールネジ軸31aが回転され、Z軸スライダ32を介して、研磨工具保持部10に保持された研磨工具11がZ軸方向の任意の位置に移動位置決めされる。Z軸位置決め機構部30の位置決め精度は、例えば分解能0.1μm程度としている。

【0050】X軸移動機構部40は、ウェーハWをチャッキングするウェーハテーブル42とウェーハテーブル42を回転駆動させる駆動力を供給する駆動モータ44と、駆動モータ44と保持装置45の回転軸とを連結するベルト46と、保持装置45に設けられた加工パン4

7と、駆動モータ44および保持装置45が設置されたX軸スライダ48と、不図示の架台に設置されたX軸サーボモータ49と、X軸サーボモータ49に接続されたボールネジ軸49aと、X軸スライダ48に連結されたボールネジ軸49aに螺合するネジ部が形成された可動部材49bとから構成されている。

【0051】ウェーハテーブル42は、例えば、真空吸着手段によってウェーハWを吸着する。加工パン47は、使用済のスラリー等の液体を回収するために設けられている。駆動モータ44は、テーブルドライブ53に接続されており、当該テーブルドライブ53から駆動電流が供給されることによって駆動され、この駆動電流を制御することでウェーハテーブル42を所定の回転数で回転させることができる。X軸サーボモータ49は、X軸ドライブ54に接続されており、当該X軸ドライブ54から供給される駆動電流によって回転駆動し、X軸スライダ48がボールネジ軸49aおよび可動部材49bを介してX軸方向に駆動する。このとき、X軸サーボモータ49に供給する駆動電流を制御することによって、ウェーハテーブル42のX軸方向の速度制御が可能となる。

【0052】スラリー供給装置71は、スラリーSLを供給ノズルを介して、ウェーハW上に供給する。スラリー（錯形成剤）としては、例えば、金属を酸化させる酸化剤や酸化された金属の錯体を形成する配位子、および研磨砥粒などを用いる。酸化剤としては、例えば銅膜の研磨用として、例えば、過酸化水素、硝酸鉄、ヨウ素酸カリウム等をベースとした酸化力のある水溶液などである。研磨砥粒としては、酸化アルミニウム（アルミナ）、酸化セリウム（セリア）、シリカ、酸化ゲルマニウム等がある。配位子としては、例えば、銅膜の研磨用には、キナルジン酸、グリシン、クエン酸、シュウ酸、プロピオン酸などのキレート剤を使用する。

【0053】純水供給装置81は、純水Hを供給ノズルを介して、ウェーハW上に供給する。これは、ウェーハWの洗浄や、チャッキング面の洗浄等の目的で使用される。なお、主軸モーター14、保持装置13、主軸13aおよびフランジ部材12の中心部に貫通孔を形成し、この貫通孔よりスラリーSLや純水HをウェーハW上に供給する供給ノズルとすることも可能である。

【0054】温度調整器61は、スラリー供給装置71および純水供給装置81から供給されたスラリーSLや純水Hを恒温槽などを用いて、一定の温度に温度調整するものである。ここで、図3および図4にスラリー供給装置71および温度調整器61の構成の具体例を示す。

【0055】図3に示す例では、スラリー供給装置71は、酸化剤、キレート剤および研磨砥粒が攪拌機Sにより混合されたスラリータンク71a、およびスラリータンク71aからスラリーSLを管Piを通して温度調整器61へ供給するポンプPにより構成されている。温度

調整器61は、例えば、恒温槽61aと、恒温槽の温度を測定する温度計T、および恒温槽61a内を通る管Piからなり、恒温槽内の液体の温度は一定に保たれている。上記の構成により、スラリータンク71aからのスラリーSLがポンプPにより恒温槽61aへ管Piを通して導かれ、恒温槽61a中を管Piを通して通過することにより、管Pi中のスラリーSLの温度調整がなされ、当該温度調整がなされたスラリーSLがウェーハW上の加工ポイントへ供給される。

【0056】図4に示す例では、スラリー供給装置71は、スラリーSL中の成分である研磨砥粒、キレート剤、酸化剤をそれぞれ別々に保持するスラリータンク71a、71b・・・、およびスラリータンク中のスラリーSLを温度調整器61へ供給するポンプPからなる。温度調整器61は、それぞれのスラリータンクから供給されたスラリーを混合するミキサMと、ミキサMの外部に設けられた熱交換器61b、および熱交換機61b中を通る高温流体を取り出してその温度を一定に保ち、再び熱交換器61bに供給するポンプPを有する恒温槽61aから構成されている。上記の構成例では、スラリーSL中の成分である研磨砥粒、キレート剤、酸化剤などが別々のスラリータンク71a、71b・・・に保持されており、加工ポイント手前で、例えば熱交換器61bを有するミキサMにより混合および温度調整される。上記の構成例では、加熱により揮発性の高い過酸化水素水などを使用する場合や、スラリー中に温度劣化または経時劣化する成分を含む場合、溶液を混合したまま放置しておくとして反応してしまうような場合などに有効である。なお、本構成例では、各スラリータンク、ポンプPおよびミキサMが錯形成剤供給手段の1具体例に対応している。

【0057】温度測定器62は、例えばウェーハWの温度をモニタするために設けられており、モニタした温度測定信号62sをコントローラ55に出力する。温度測定器62としては、例えば、赤外線表面温度計を用いる。

【0058】コントローラ55は、研磨装置の全体を制御する機能を有し、具体的には、主軸ドライブ52に対して制御信号52sを出力して研磨工具11の回転数を制御し、Z軸ドライブ51に対して制御信号51sを出力して研磨工具11のZ軸方向の位置決め制御を行い、テーブルドライブ53に対して制御信号53sを出力してウェーハWの回転数を制御し、X軸ドライブ54に対して制御信号54sを出力して、ウェーハWのX軸方向の速度制御を行う。

【0059】また、コントローラ55は、温度調整器61の動作を制御し、加工ヘッド部へ供給される純水HおよびスラリーSLの温度調整を制御する。例えば、コントローラ55には、温度測定器62からの温度測定信号62sが入力され、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィード

バック信号として、制御信号61sを出力することで温度調整器61における調整温度を制御する。

【0060】コントローラ55に接続されたコントロールパネル56は、オペレータが各種のデータを入力したり、例えば、モニタした温度測定信号62sを表示したりする。

【0061】次に、上記した研磨装置による研磨動作をウェーハW表面に形成された金属膜を研磨する場合を例に説明する。なお、ウェーハWの表面には、例えば銅膜からなる金属膜が形成されている場合について説明する。まず、ウェーハテーブル42にウェーハWをチャッキングし、純水供給装置81から温度調整器61により温度調整された純水を一定時間、ウェーハW上に、供給してウェーハWの温度調整をしておく。ここで、例えば2分に1回、10秒間（流量：400ml/min）70℃の純水を供給する。また、研磨装置の設置されたクリーンルーム内の温度も一定温度に管理しておく。次に、純水の供給を停止して、ウェーハテーブル42を駆動して所定の回転数でウェーハWを回転させる。また、ウェーハテーブル42をX軸方向（図中矢印xで示す）に移動して、フランジ部材12に取り付けられた研磨工具11をウェーハWの上方の所定の場所に配置させ、研磨工具11を所定の回転数で回転させる。

【0062】温度調整器61により温度調整されたスラリーSLを、ウェーハWの加工ポイントに供給し、研磨工具11をZ軸方向（図中矢印zで示す）に下降させて研磨工具11の研磨面11aをウェーハWの表面に接触させ、所定の加工圧力で押圧させる。この状態からウェーハテーブル42をX軸方向に所定の速度パターンで移動させ、ウェーハWの全面を一様に研磨加工する。

【0063】上記構成の研磨装置では、上述したウェーハWに形成された銅膜MTの表面に、酸化剤およびキレート剤などの錯形成剤によって、機械的強度の低いキレート膜を生成し、除去する機能を備えている。また、銅膜表面のキレート膜生成反応を温度調整されたスラリーを供給することによって促進し、高い研磨レートを確保している。

【0064】本実施形態に係る研磨装置によれば、金属膜をキレート剤によって機械的強度の低いキレート膜に変えて、低い研磨圧力で銅膜を研磨するため、ディッシングやエロージョンなどの不利益が生じることなく平坦化加工することができる。また、銅膜とキレート剤とのキレート反応を温度調整により促進することによって、高い研磨レートを確保することができる。さらに、温度調整器によりウェーハ表面の温度が一定となるようにすることにより、錯体膜の生成速度を一定に保つことができ、その結果、ウェーハ内の金属膜の研磨レートを一定に保つことができることから、平坦化能力の高い研磨装置を実現することができる。

#### 【0065】変形例1

図5は、本発明に係る研磨装置の変形例を示す概略構成図である。図5に示す研磨装置は、上記の錯形成反応をウェーハWの温度調整を行うことにより促進する。例えば、図5に示すように、第1実施形態の研磨装置のウェーハWをチャッキングするウェーハテーブル42の内部にヒータを設ける。例えば放射線状に発熱体43が設けられており、発熱体43とヒータ電源41とはロータリジョイント43を介して電氣的に接続されている。なお、図示していないが、ヒータ電源41とコントローラ55は接続されており、温度測定器62からの温度測定信号62sに基づいて、ヒータ電源41の動作を制御可能となっている。具体的には、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィードバック信号としてヒータ電源41の電圧を制御したりする。

【0066】また、第1実施形態の研磨装置のウェーハWをチャッキングするウェーハテーブル42の内部に放射線状の循環水路を設置して、恒温槽により一定温度の流体を供給および循環させる構成とすることにより、ウェーハWの温度調整をしても良い。この場合にも、恒温槽とコントローラ55は接続されており、温度測定器62からの温度測定信号62sに基づいて、恒温槽の動作を制御可能とする。具体的には、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィードバック信号として恒温槽の温度制御や循環水路への供給流量の動作を制御したりする。

【0067】上記構成の研磨装置の研磨動作は、第1実施形態と基本的に同様であり、ウェーハWを保持するウェーハテーブル42を温度調整することによりウェーハWを温度調整し、これによって金属膜の錯形成領域の温度調整を行い、錯形成反応を促進することとしている。上記構成の研磨装置では、上述したウェーハWに形成された銅膜の表面に、酸化剤およびキレート剤などの錯形成剤によって、機械的強度の低いキレート膜を生成し、除去する機能を備えている。

【0068】上記の研磨装置によっても、第1実施形態と同様の効果を発揮することができ、従って低い研磨圧力、高い研磨レートかつ高い平坦化能力を有する研磨装置を実現できる。

#### 【0069】変形例2

図6は、本発明に係る研磨装置の変形例を示す概略構成図である。図6に示す研磨装置は、従来型のCMP装置に、本発明の機能を付加したものである。従来型のCMP装置では、主軸ベアリング24に装着された定盤23上に研磨パッド（研磨布）22が貼着された研磨工具の回転する研磨面に、ウェーハチャック21bによってチャッキングされたウェーハWの全面を回転させながら接触させてウェーハWの表面を平坦化する。

【0070】図6に示す研磨装置では、上記の従来型のCMP装置にさらに以下の構成を有する。ここで、例え

ばウェーハ表面の銅膜を研磨する装置について説明する。

【0071】まず、定盤23にはヒータが内蔵されていて、例えば、放射線状に発熱体23aが定盤23に埋め込まれている。発熱体23aとヒータ電源41とはロータリージョイント43を介して電氣的に接続されている。また、ヒータ電源41とコントローラー55は接続されており、温度測定器62からの温度測定信号62sに基づいて、ヒータ電源41の動作を制御可能となっている。具体的には、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィードバック信号としてヒータ電源41の電圧を制御したりする。

【0072】なお、変形例1と同様、定盤23の内部に放射線状の循環水路を設置して、恒温槽により一定温度の流体を供給および循環させる構成とすることにより、ウェーハWの温度調整をしても良い。この場合にも、恒温槽とコントローラー55は接続されており、温度測定器62からの温度測定信号62sに基づいて、恒温槽の動作を制御可能とする。具体的には、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィードバック信号として恒温槽の温度制御や循環水路への供給流量の動作を制御したりする。

【0073】スラリー供給装置は、研磨砥粒の他に銅膜を酸化する酸化剤および配位子などを供給する。なお、これらのスラリーの成分については第1実施形態と同様である。また、スラリーEおよび純水Hを温度調整する温度調整器61が設けられており、このスラリー供給装置71と温度調整器61の構成についても第1実施形態と同様である。

【0074】温度調整器61とコントローラー55も接続されており、温度測定器62からの温度測定信号62sに基づいて、温度調整器61の動作を制御可能となっている。具体的には、温度測定信号62sから得られる温度が一定となるように、温度測定信号62sをフィードバック信号として温度調整器の動作を制御したりする。

【0075】ウェーハチャック21bとウェーハWの間には、断熱材料21aをバックング剤としてウェーハチャック側を熱的に絶縁しており、ウェーハWを定盤23の温度に習わせるようにしている。

【0076】ここで、上記構成の研磨装置による研磨動作（研磨方法）を説明する。なお、ウェーハW表面には、銅膜が形成されているものとする。ウェーハW表面に形成された銅膜と研磨パッド22の研磨面との間には、スラリーSLが介在した状態で、銅膜の表面は、酸化剤により酸化され、当該酸化された銅膜表面にはキレート剤によりキレート膜が生成され、当該キレート膜は研磨パッド22とスラリーSL中の研磨砥粒による機械的除去作用によって除去されることにより、銅の平坦化

が達成される。

【0077】このような構成とすることにより、上述した第1実施形態に係る研磨装置と同様の効果が発揮され、従って低い研磨圧力、高い研磨レートかつ高い平坦化能力を有する研磨装置を実現できる。

#### 【0078】第2実施形態

本発明の研磨方法の実施形態について、半導体装置のデュアルダマシン法による配線形成プロセスに適用した場合について説明する。なお、配線材料として銅を用いた場合について説明する。

【0079】まず、図7(a)に示すように、例えば不図示の不純物拡散領域が適宜形成されている、例えばシリコン等の半導体基板101上に、例えば酸化シリコンからなる層間絶縁膜102を、例えば反応源としてTEOS (tetraethylorthosilicate) を用いて減圧CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により形成する。なお、層間絶縁膜を、上記のTEOSなどを原料にした通常の酸化シリコンよりも誘電率の低いいわゆるlow-k材料により形成することもできる。例えば、プラズマCVDの際に、フッ化炭素あるいはフッ化ケイ素を混入して、FSG (フッ化シリケートガラス: SiOF) を形成したり、またSOG (Spin On Glass) 法により、ポリイミド系高分子膜、テフロン系高分子膜、フッ素化アモルファスカーボン系膜、ポリアリアルエーテル系高分子膜、HSQ (Hydrogen Silsequioxanes:  $H_8Si_8O_{12}$ )、キセロゲル（ポーラスシリカ）などを層間絶縁膜として、形成することもできる。

【0080】次に、図7(b)に示すように、半導体基板101の不純物拡散領域に通じるコンタクトホールCHおよび配線用溝Mを、例えば公知のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて形成する。なお、配線用溝Mの深さは、例えば、800nm程度である。

【0081】次に、図7(c)に示すように、バリア膜103を層間絶縁膜102の表面、コンタクトホールCHおよび配線用溝M内に形成する。このバリア膜103は、例えば、Ta、Ti、W、Co、Ta<sub>2</sub>N、TiN、WN、CoWもしくはCoWP等の材料をスパッタリング装置、真空蒸着装置等をもちいたPVD (Physical Vapor Deposition) 法により、例えば25nm程度の膜厚で形成する。バリア膜103は、配線を構成する材料が層間絶縁膜102中に拡散するのを防止するため、および、層間絶縁膜102との密着性を上げるために設けられる。特に、本実施形態のように、配線材料が銅で層間絶縁膜102が酸化シリコンのような場合には、銅は酸化シリコンへの拡散係数が大きく酸化されやすいため、これを防止する必要がある。

【0082】次に、図8(d)に示すように、バリア膜103上に、配線形成材料と同じ材料の銅からなるシード膜104を公知のスパッタ法により、例えば150nm

m程度の膜厚で形成する。シード膜104は、銅を配線用溝MおよびコンタクトホールCH内に埋め込んだ際に、銅グレインの成長を促すために形成する。

【0083】次に、図8(e)に示すように、コンタクトホールCHおよび配線用溝Mを埋め込むように、バリア膜103上に銅からなる配線用層105を、例えば1600nm程度の膜厚で形成する。配線用層105は、好ましくは、電解メッキ法または無電解メッキ法によって形成するが、CVD法、スパッタ法などによって形成してもよい。なお、シード膜104は配線用層105と

一体化する。配線用層105の表面には、コンタクトホールCHおよび配線用溝Mの埋め込みによって生じた、例えば、800nm程度の高さの凹凸が形成されている。

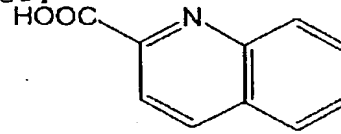
【0084】以上のプロセスは、従来と同様のプロセスで行われる。ここで、上記の層間絶縁膜102上に存在する余分な配線用層105を除去し平坦化する工程を詳細に説明する。

【0085】まず、配線用層105の凹凸に沿って一様な厚さで銅膜よりも機械的強度の低い錯体膜を形成する。この錯体膜形成方法としては、ウェーハW表面上に温度調整された研磨砥粒、酸化剤、および配位子を含むスラリーを供給する。ここで、配位子として、例えば銅のキレートを形成するキレート剤を用いる。具体的には、化学構造式(1)のキナルジン酸、化学構造式(2)のグリシン、クエン酸、シュウ酸、プロピオン酸などを用いる。また、銅の酸化剤としては、例えば過酸化水素水を用い、研磨砥粒としては、例えば、酸化アルミニウム(アルミナ)、酸化セリウム(セリア)、シリ

カ、酸化ゲルマニウム等を用いる。

【0086】

【化1】



(1)

【0087】

【化2】  $\text{NH}_2 \text{ CH}_2 \text{ COOH}$

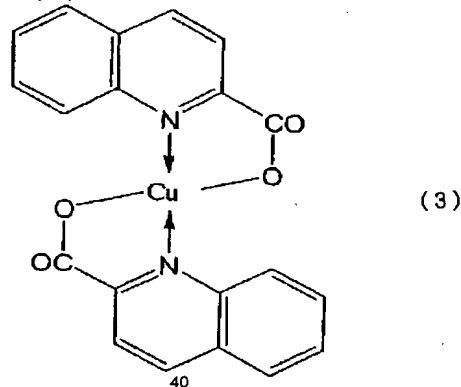
(2)

【0088】図9(f)に示すように、配線用層105の銅膜表面にはスラリーに含まれる過酸化水素水などの酸化剤により、一様に酸化膜( $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ )が形成され、当該酸化膜がキレート剤とのキレート反応(錯形成反応)により、キレート化することにより、一様にキレート膜が形成されることになる。上記のキレート反応は、温度調整されたスラリーを供給したり、ウェーハの温度調整を行うことにより促進される。なお、酸化されない前は、銅のキレート化は抑制された状態にある。

【0089】ここで、キレート剤にキナルジン酸を用いた場合には、化学構造式(3)のキレート化合物からなる膜となり、グリシンを用いた場合には、化学構造式(4)のキレート化合物からなる膜となる。これらのキレート膜106は、銅に比べて機械的強度は非常に小さい。

【0090】

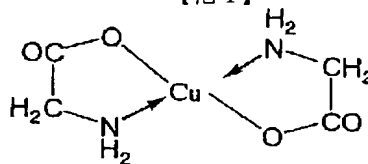
【化3】



(3)

【0091】

【化4】



(4)

【0092】次に、図9(g)に示すように、銅膜105の表面に形成されたキレート膜106の凸部を、研磨工具とスラリーに含まれる研磨砥粒による機械的除去作

用により、選択的に除去する。当該キレート膜の機械的強度は非常に小さいため、小さい研磨圧力でキレート膜106を容易に除去することができる。上記のようにし

て、凸部からキレート膜下の銅膜がスラリー中に露出する。

【0093】次に、図9(h)に示すように、当該スラリー中に露出した銅膜105の凸部は、酸化剤によって再び酸化され、酸化された銅は、再びキレート剤により、キレート化される。

【0094】次に、図10(i)に示すように、キレート膜106の凸部を、機械研磨などにより再び選択的に除去し、露出した銅膜105が再びキレート化され、当該キレート膜106の凸部を選択的に除去する工程を、バリア膜103上の余分な銅膜105がほぼなくなるまで繰り返すことにより、銅膜105を平坦化していく。その後、スラリー中の酸化剤およびキレート剤によるキレート化の進行を止めるために、銅膜へのスラリーの供給を停止する。ここまでのプロセスによって、銅膜105の初期凹凸の段差緩和(平坦化)は達成される。

【0095】なお、上記の銅膜の平坦化除去工程では、バリア金属103上で研磨を終了するため、用いるスラリーとしては、銅のみ除去できるスラリーが好ましい。具体的には、レート選択比が銅：バリア金属：層間絶縁膜＝1：0：0となるようなスラリーが好ましい。ところが、銅膜除去用に調合されたスラリーであっても、バリア金属や層間絶縁膜もいくらかは除去されレートが発生する。つまり、実際にはレート選択比が銅：バリア金属：層間絶縁膜＝1：0.5：0.5のようになってしまう。本発明の研磨方法では、温度調整されたスラリーを用いることで銅のキレート化を促進することにより、銅の研磨レートを上げることから、レート選択比を銅：バリア金属：層間絶縁膜＝1：0：0に近づけることができる。

【0096】次に、図10(j)に示すように、レート選択比が銅：バリア金属：層間絶縁膜＝1：1：0となるようなスラリーを用いて、残りの余分な銅膜105、および配線用溝の外部に堆積されたバリア金属103を除去することにより、銅配線が形成される。

【0097】上記の本発明の実施形態に係る研磨方法を用いた半導体装置の製造方法によれば、例えば配線である銅膜表面を機械的強度の低い、キレート膜などの錯体膜に変えて研磨するため、低い研磨圧力で研磨除去することが可能となる。従って、配線下層の層間絶縁膜にあたるダメージを低下させることができ、絶縁膜材料として機械的強度がTEOSなどを原料にした酸化シリコンよりも低い低誘電率材料にも適用可能である。また、ディッシング、エロージョンなどの不利益を防止することができる。さらに、上記の錯形成反応を温度調整して促進することにより、キレート膜の生成速度が増加することから、銅膜の研磨レートを向上することができ、ウェーハのスループットを上げることができる。なお、上記の作用を、錯形成反応の温度が一定となるように調整することにより、錯体膜の生成速度をほぼ一定に保つこ

とができ、その結果、ウェーハ内の研磨レートを一定に保つことが出来る。従って、平坦化能力の高い研磨方法を実現することができる。

【0098】本発明は、上記の実施の形態に限定されない。例えば、銅配線に限らず他の金属でも、配位子と機械的強度の低い錯体を形成するものであれば、本発明の研磨装置、研磨方法、半導体装置の製造方法を適用することができる。また、錯形成剤はキレート剤に限られるものではなく、種々の配位子に変更可能である。さらに錯形成反応を促進する手段についても、上記した手法のほか、種々の変更が可能である。例えば、ウェーハに対向する位置に放射赤外線ヒータなどを設置して、ウェーハの表面温度を調整することも可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

#### 【0099】

【実施例】以下に、本発明の研磨装置、研磨方法および半導体装置の製造方法を用いた実施例について、図面を参照して説明する。

【0100】以下の条件により、本発明の第1実施形態に係る研磨装置を用いて、ダマシンプロセスを用いた銅の平坦化研磨を行った。

#### 【0101】スラリー

砥粒には、弱酸性水溶液に酸化アルミニウム(アルミナ)を10%含有させたものを用い、キレート剤にはキナルジン酸の原液を用い、酸化剤には過酸化水素水35%のものを用いた。これらの砥粒とキレート剤と酸化剤を1：0.65：0.2の容積比で混合してスラリーとした。なお、スラリーの供給流量は300ml/minで、温度調整方式としては、第1実施形態の図3で説明した方式を用いた。

#### ホイール

材質は、PVAポリビニルアセタール連続発泡体を用い、形状は外径φ290mm、幅40mm、厚さ20mmであり、回転数320rpmで回転させた。

#### その他

ウェーハの回転数は60rpmで回転させ、加工トルクは3.0Nmとした。なお、研磨の前段階として2分に1回10秒間(70℃、400ml/min)、純水をウェーハテーブルのチャック面に供給しておき、あらかじめ温度調整しておいた。

#### 【0102】第1実施例

図11に、上記の条件で初期膜厚2000nmの銅膜を有するウェーハ表面に、常温(23℃)、60℃、70℃に温度調整されたスラリーを供給して銅膜を研磨した場合の研磨レートの測定結果を示す。横軸は、供給されたスラリーの温度(℃)を示しており、縦軸は銅膜の研磨レート(nm/min)を示している。なお、測定は、ウェーハ表面を直径方向に21ポイントに分割して、各ポイントのシート抵抗を測定することによって膜

厚測定を行い、加工時間で換算して各ポイントにおける研磨レートを求め、その平均値を算出した。その結果、研磨レートは、常温で208.2nm/minであり、60℃で397.9nm/minであり、70℃で495.2nm/minであった。従って温度上昇するに伴い、研磨レートが常温から60℃では90%、70℃では、140%上昇していることがわかり、高い研磨レートを実現している。

#### 【0103】第2実施例

図12にディッシング評価用のウェーハを用いた、ウェーハ面内均一性試験の結果を示す。ディッシング評価用のウェーハは、直径8インチのウェーハの各チップに形成された酸化シリコンからなる層間絶縁膜に、幅が100μmで深さが800nmの配線用溝を形成し、当該配線用溝を被覆してTaからなるバリアメタルを形成し、さらにバリアメタル上に銅膜を1200nmの膜厚で形成したものを用いた。なお、各チップの銅膜表面には、配線用溝の埋め込みによって生じた800nmの段差がある。上記のウェーハ表面に、常温(23℃)および70℃に温度調整されたスラリーを供給して銅膜を約1000nm研磨した。なお、常温のスラリーを供給して研磨した場合には5分加工、70℃に温度調整されたスラリーを供給して研磨した場合には、2分加工を行った。

【0104】当該ウェーハの中央部Aと端部C、および中央部Aと端部Cの中間部Bの計3箇所が存在するチップ上の上記配線部分の膜厚を測定した。なお、図中、①は各部分における初期段差を示しており、②は各部分における常温のスラリーを供給して研磨した場合の配線部分の銅の膜厚を示しており、③は各部分における70℃に温度調整されたスラリーを供給して研磨した場合の配線部分の銅の膜厚を示している。

【0105】図12に示すように、70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合でも、常温のスラリーを供給して5分加工した場合と同等のウェーハ面内均一性を有しており、研磨レートを向上してもディッシングによるウェーハ面内均一性の減少はない。上記の結果は、従来、単純に研磨レートを上げるとそれに比例してディッシングも増大することからすると飛躍的な効果があるといえる。

#### 【0106】第3実施例

図13にエロージョン評価用のウェーハを用いた、ウェーハ面内均一性試験の結果を示す。エロージョン評価用のウェーハは、直径8インチのウェーハの各チップに形成された酸化シリコンからなる層間絶縁膜に、当該酸化シリコンの1200μmラインに幅が1.5μmで膜厚が深さ800nmの配線用溝を密度75%で連続的に形成し、当該配線用溝を被覆してTaからなるバリアメタルを形成し、さらに当該バリアメタル上に銅膜を1200nmの膜厚で形成したものを用いた。上記のウェーハ表面に、常温(23℃)および70℃に温度調整された

スラリーを供給して銅膜を約1000nm研磨した。なお、常温のスラリーを供給して研磨した場合には5分加工、70℃に温度調整されたスラリーを供給して研磨した場合には、2分加工を行った。

【0107】当該ウェーハの中央部Dと端部F、および中央部Dと端部Fの中間部Eの計3箇所が存在するチップ上の上記配線部分の膜厚を測定した。なお、図中、①は各部分における初期段差を示しており、②は各部分における常温のスラリーを供給して研磨した場合の配線部分の銅の膜厚を示しており、③は各部分における70℃に温度調整されたスラリーを供給して研磨した場合の配線部分の銅の膜厚を示している。

【0108】図13に示すように、70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合でも、常温のスラリーを供給して5分加工した場合と同等のウェーハ面内均一性を有しており、研磨レートを向上してもエロージョンによるウェーハ面内均一性の減少はない。このことは、従来、単純に研磨レートを上げるとそれに比例してエロージョンも増大することからすると飛躍的な効果があるといえる。

#### 【0109】第4実施例

図14～図16に第2実施例で測定した中央部Aにおけるディッシング評価のプロファイルの1例を示す。各図とも、横軸は、銅配線の幅方向における位置を示しており、縦軸は銅膜の膜厚を示している。図14は、研磨加工前の状態における配線幅100μm、段差800nmの銅膜の膜厚分布を示している。図15は、図14に示す膜厚分布の銅膜に常温のスラリーを供給して5分加工した場合の膜厚分布を示している。図16は、図14に示す膜厚分布の銅膜に70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合の膜厚分布を示している。

【0110】図15および図16を比較すると、70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合でも、常温のスラリーを供給して5分加工した場合と同等の膜厚分布を有しており、従って、研磨レートを向上してもディッシングが増大してはいない。このことは、従来、単純に研磨レートを上げるとそれに比例してディッシングも増大することからすると飛躍的な効果があるといえる。

#### 【0111】第5実施例

図17～図19に第3実施例で測定した中間部Eにおけるエロージョン評価のプロファイルの1例を示す。各図とも、横軸は、銅配線の幅方向における位置を示しており、縦軸は銅膜の膜厚を示している。図17は、研磨加工前の状態における1200μmラインに配線幅が1.5μm、深さ800nmの配線用溝を密度75%で連続的に形成してあるバリアメタル上に銅膜を1200nm埋め込んだ場合の膜厚分布を示している。図18は、図17に示す膜厚分布の銅膜に常温のスラリーを供給して

5分加工した場合の膜厚分布を示している。図19は、図17に示す膜厚分布の銅膜に70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合の膜厚分布を示している。

【0112】図18および図19を比較すると、70℃に温度調整されたスラリーを供給して2分加工を行った場合でも、常温のスラリーを供給して5分加工した場合と同等の膜厚分布を有しており、従って、研磨レートを向上してもエロージョンが増大してはいない。このことは、従来、単純に研磨レートを上げるとそれに比例してエロージョンも増大することからすると飛躍的な効果があるといえる。

#### 【0113】

【発明の効果】本発明の研磨装置によれば、金属膜を錯形成剤によって機械的強度の低い錯体に変えて、低い研磨圧力で銅膜を研磨するため、ディッシングやエロージョンなどの不利益が生じることなく平坦化加工することができる。また、金属膜と錯形成剤との錯形成反応を促進する温度に錯形成領域の温度調整をすることによって、研磨レートを向上させることができる。さらに、温度調整器により錯形成領域の温度が一定となるようにすることにより、錯体膜の生成速度を一定に保つことができ、その結果、金属膜の研磨レートを一定に保つことが出来ることから、研磨レートを向上しつつ平坦化能力の高い研磨装置を実現することができる。

【0114】上記の本発明の研磨方法およびそれを用いた半導体装置の製造方法によれば、金属膜表面を機械的強度の低い、錯体膜に変えて研磨するため、低い研磨圧力で研磨除去することが可能となる。従って、配線下層の層間絶縁膜にあたるダメージを低下させることができ、絶縁膜材料として機械的強度がTEOSなどを原料にした酸化シリコンよりも低い低誘電率材料にも適用可能である。また、ディッシング、エロージョンなどの不利益を防止することができる。さらに、上記の錯形成反応を促進する温度に錯形成領域の温度調整をすることにより、錯体膜の生成速度が増加することから、銅膜の研磨レートを向上することができ、半導体装置のスループットを上げることができる。なお、上記の作用を、錯形成領域の温度が一定となるように調整することにより、錯体膜の生成速度をほぼ一定に保つことができ、その結果、研磨レートを一定に保つことが出来る。従って、研磨レートを向上しつつ平坦化能力の高い研磨方法を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る研磨装置の構成を示す図である。

【図2】図2は、加工ヘッド部の概略拡大図を示す図である。

【図3】図3は、スラリー供給装置71および温度調整器61の構成の1具体例を示す図である。

【図4】図4は、スラリー供給装置71および温度調整器61の構成の1具体例を示す図である。

【図5】図5は、本発明に係る研磨装置の第1変形例を示す概略構成図である。

【図6】図6は、本発明に係る研磨装置の第2変形例を示す概略構成図である。

【図7】図7は、本発明の半導体装置の製造方法の製造工程を示す断面図であり、(a)は半導体基板への絶縁膜形成工程まで、(b)はコンタクトホールおよび配線用溝の形成工程まで、(c)はバリア膜の形成工程までを示す。

【図8】図8は、図7の続きの工程を示し、(d)はシード膜としての銅膜の形成工程まで、(e)は銅膜の形成工程までを示す。

【図9】図9は、図8の続きの工程を示し、(f)は銅膜表面への錯体膜形成工程まで、(g)は凸部の錯体膜の除去工程まで、(g)は凸部の銅膜への錯体膜形成工程までを示す。

【図10】図10は、図9の続きの工程を示し、(i)は銅膜の平坦化工程まで、(j)は銅配線形成工程までを示す。

【図11】図11は、本発明の第1実施例を説明するための図である。

【図12】図12は、本発明の第2実施例を説明するための図である。

【図13】図13は、本発明の第3実施例を説明するための図である。

【図14】図14は、本発明の第4実施例を説明するための図であり、研磨加工前の状態における銅膜の膜厚分布を示している。

【図15】図15は、図14に示す膜厚分布の銅膜を常温のスラリーを供給して加工した場合の膜厚分布を示している。

【図16】図16は、図14に示す膜厚分布の銅膜を70℃に温度調整されたスラリーを供給して加工を行った場合の膜厚分布を示している。

【図17】図17は、本発明の第5実施例を説明するための図であり、研磨加工前の状態における銅膜の膜厚分布を示している。

【図18】図18は、図17に示す膜厚分布の銅膜を常温のスラリーを供給して加工した場合の膜厚分布を示している。

【図19】図19は、図17に示す膜厚分布の銅膜を70℃に温度調整されたスラリーを供給して加工を行った場合の膜厚分布を示している。

【図20】図20は、従来例に係るデュアルダマシン法による銅配線の形成方法の製造工程を示す断面図であり、(a)は層間絶縁膜の形成工程まで、(b)は配線用溝およびコンタクトホールの形成工程まで、(c)はバリア膜の形成工程までを示す。



【図 21】図 21 は、図 20 の続きの工程を示し、  
(d) はシード膜の形成工程まで、(e) は配線用層の  
形成工程まで、(f) は配線形成工程までを示す。

【図 22】図 22 は、CMP 法による銅膜研磨工程にお  
いて発生する問題を説明するための図であり、(a) は  
ディッシングを説明するための断面図、(b) はエロー  
ジョンを説明するための断面図、(c) はリセスを説明  
するための断面図である。

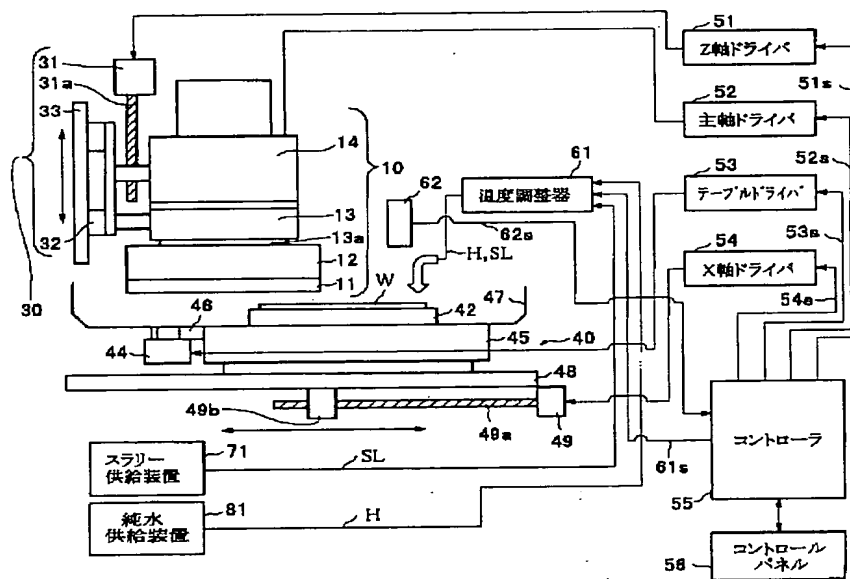
【図 23】図 23 は、CMP 法による銅膜研磨工程にお  
いて発生するスクラッチおよびケミカルダメージを説明  
するための断面図である。

【符号の説明】

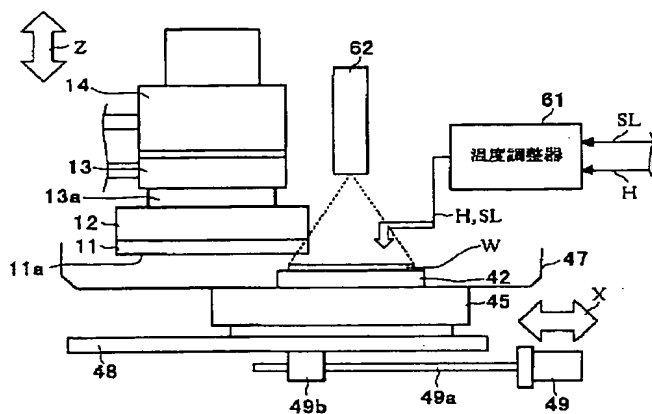
10…研磨工具保持部、11…研磨工具、12…フラン  
ジ部材、13…保持装置、13a…主軸、14…主軸モ  
ータ、21a…断熱材、22…研磨パッド、24…主軸

ベアリング、30…Z 軸位置決め機構部、31…Z 軸サ  
ーボモーター、31a…ボールネジ軸、32…Z 軸スラ  
イダ、33…ガイドレール、40…X 軸移動機構部、4  
1…ヒータ電源、42…ウェーハテーブル、42a、4  
2a…発熱体、43…ロータリージョイント、44…駆  
動モータ、45…保持装置、46…ベルト、47…加工  
パン、48…X 軸スライダ、49…X 軸サーボモータ、  
51…Z 軸ドライバ、52…主軸ドライバ、53…テー  
ブルドライバ、54…X 軸ドライバ、55…コントロー  
ラ、56…コントロールパネル、61…温度調整器、6  
2…温度計、71…スラリー供給装置、81…純水供給  
装置、101…半導体基板、102…層間絶縁膜、10  
3…バリア膜、104…シード膜、105…銅膜、10  
6…キレート膜、SC…スクラッチ、CD…ケミカルダ  
メージ、SL…スラリー、H…純水。

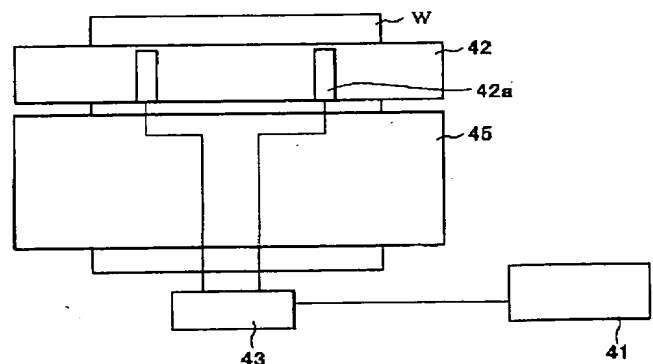
【図 1】



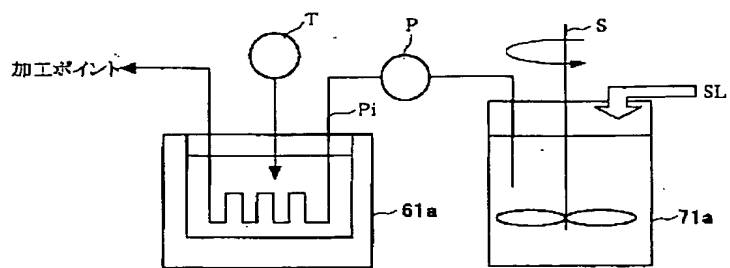
【図 2】



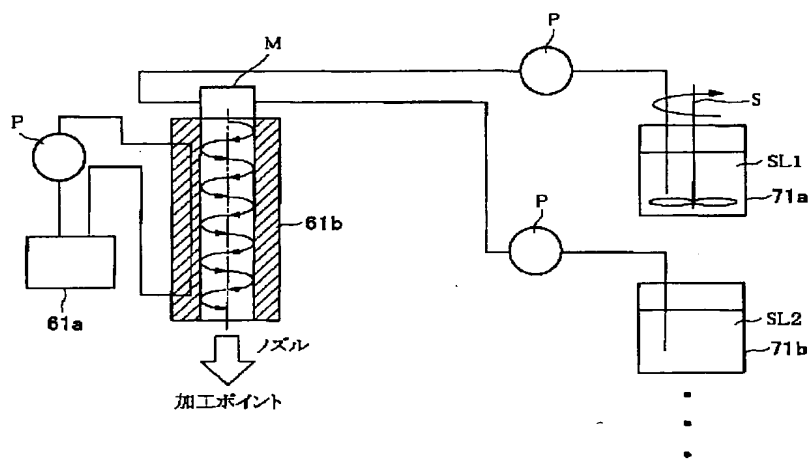
【図 5】



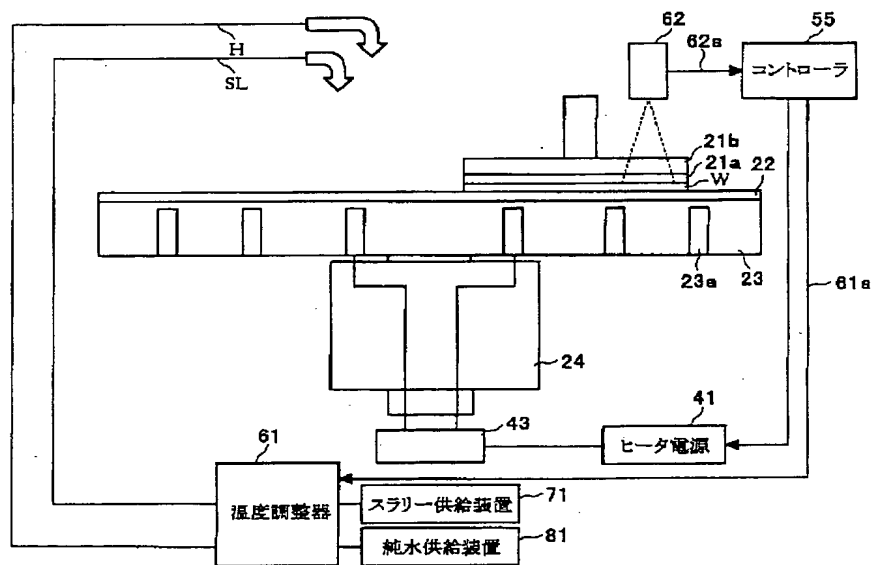
【図 3】



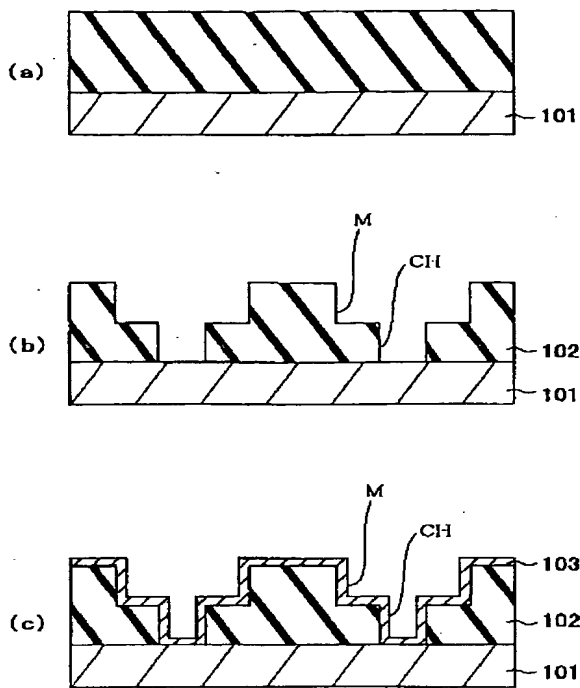
【図4】



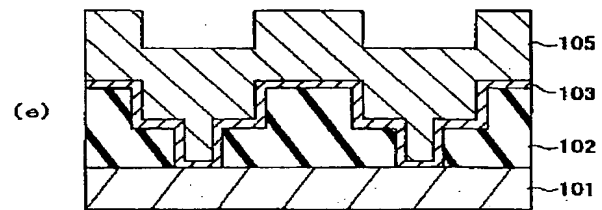
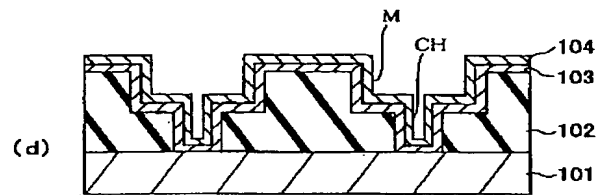
【図 6】



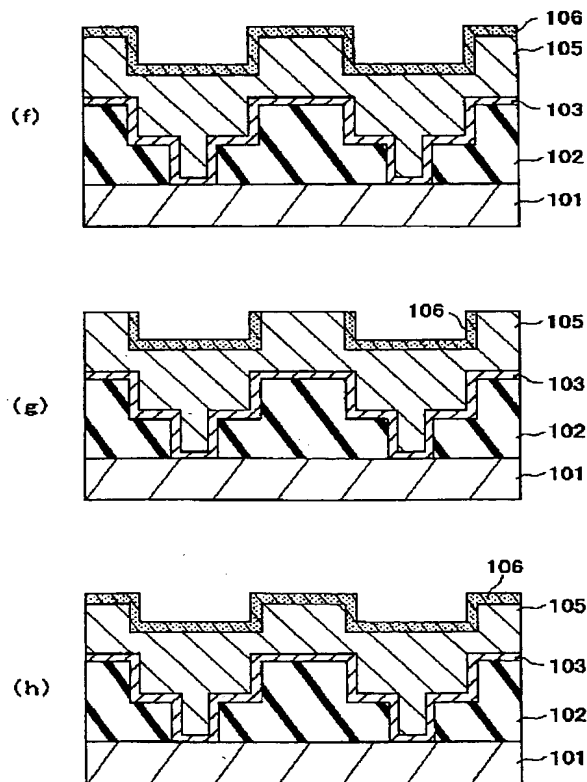
【図7】



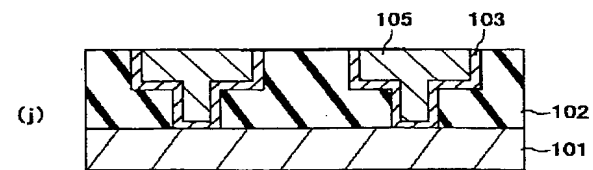
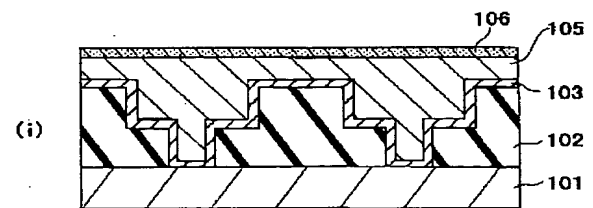
【図8】



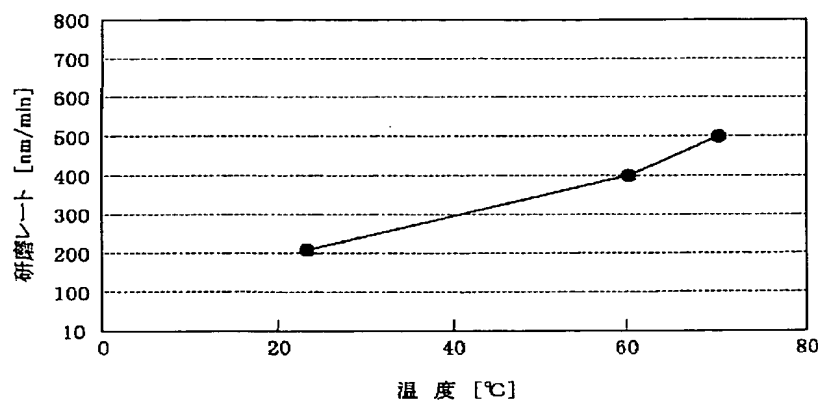
【図9】



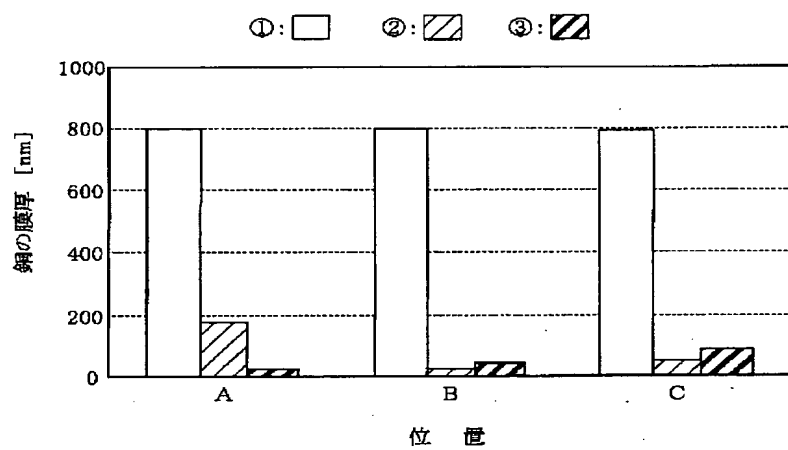
【図10】



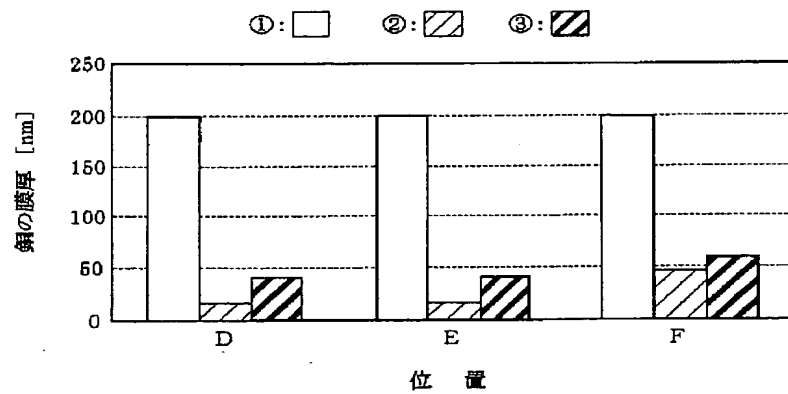
【図11】



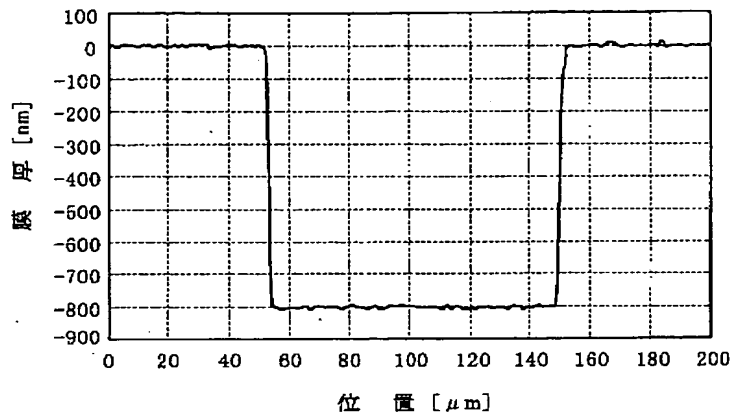
【図12】



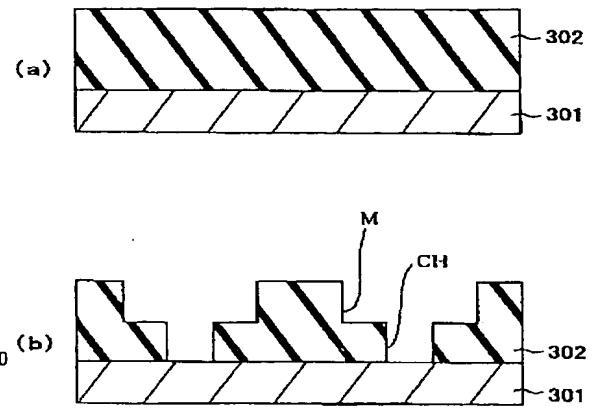
【図13】



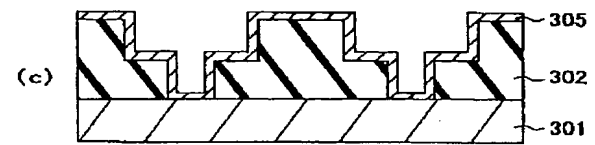
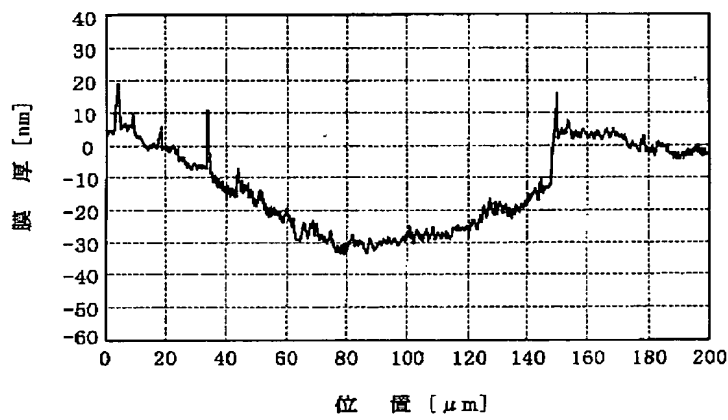
【図14】



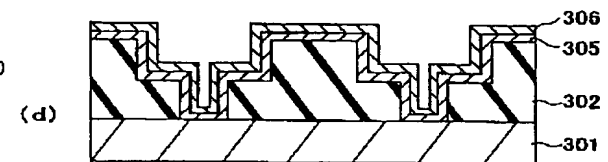
【図20】



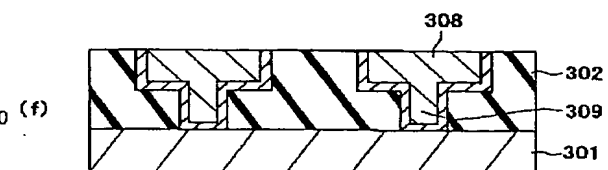
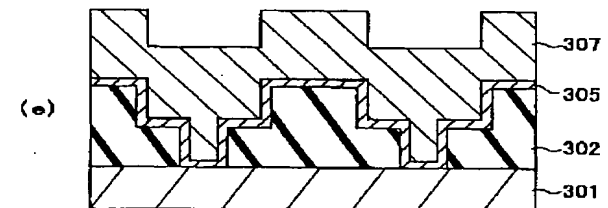
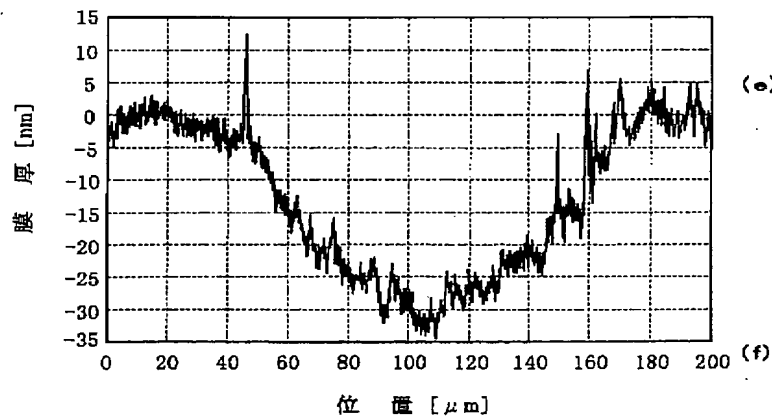
【図15】



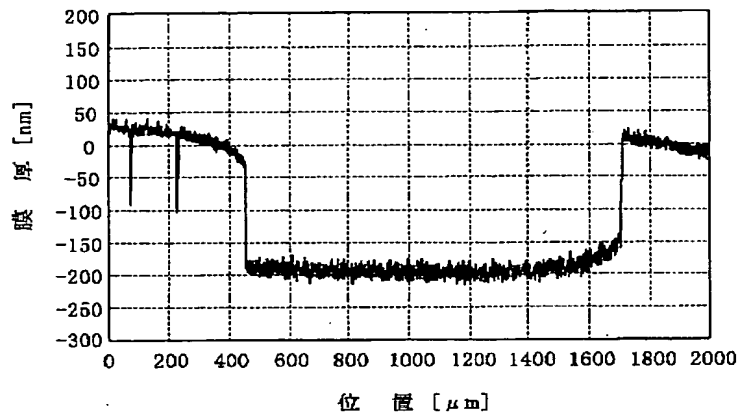
【図21】



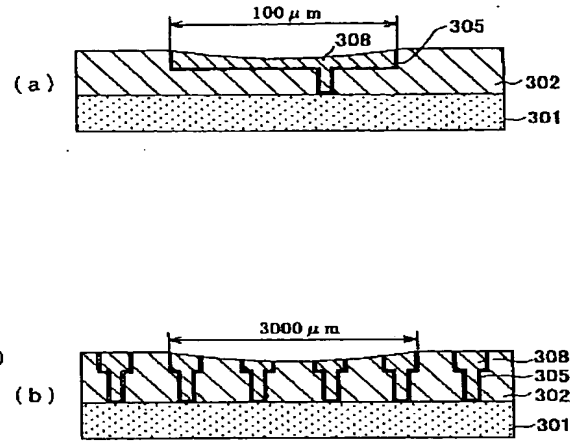
【図16】



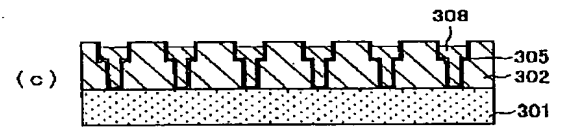
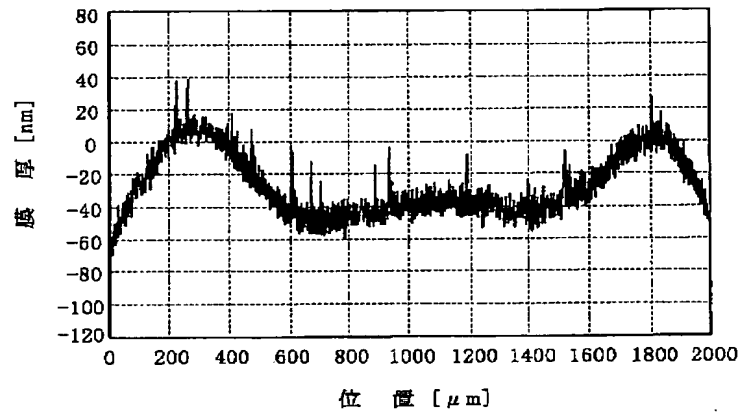
【図17】



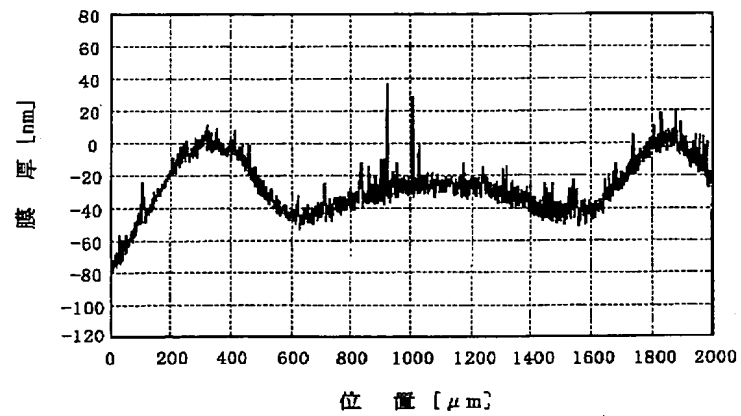
【図22】



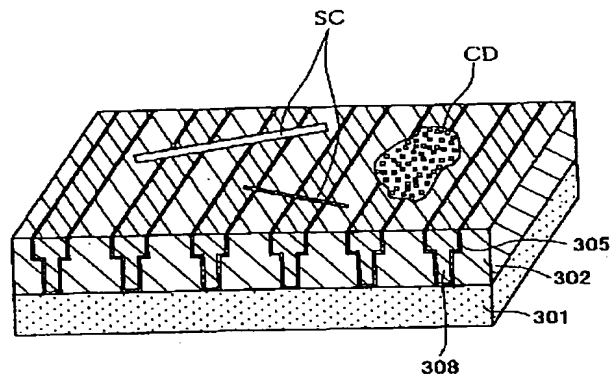
【図18】



【図19】



【図23】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

B 2 4 B 57/02

B 2 4 B 57/02

H 0 1 L 21/3205

H 0 1 L 21/88

K

21/768

21/90

C

F ターム (参考) 3C047 FF08 GG15

3C058 AA07 AC04 BA08 BC02 CA01

CB01 CB03 DA02 DA12

5F033 HH11 HH15 HH18 HH19 HH21

HH22 HH32 HH33 HH34 JJ01

JJ11 JJ15 JJ18 JJ19 JJ21

JJ22 JJ32 JJ33 JJ34 KK01

MM01 MM02 NN06 NN07 PP15

PP19 QQ09 QQ37 QQ48 QQ50

RR01 RR04 RR09 RR11 RR21

RR22 RR24 SS04 SS13 XX01

XX17

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images problems checked, please do not report the problems to the IFW Image Problem Mailbox**